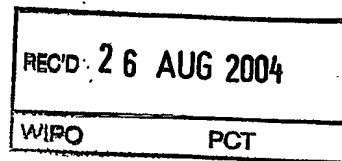


12.7.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年10月17日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-358362  
[ST. 10/C]: [JP2003-358362]

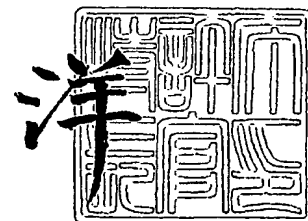
出 願 人  
Applicant(s): 鐘淵化学工業株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月13日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特2004-3072410

【書類名】 特許願  
【整理番号】 B030426  
【提出日】 平成15年10月17日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 31/04  
【発明者】  
    【住所又は居所】 京都府宇治市神明宮北 6 4 - 3 2  
    【氏名】 澤田 徹  
【発明者】  
    【住所又は居所】 兵庫県神戸市西区井吹台西町 6 - 6 - 4  
    【氏名】 吉見 雅士  
【発明者】  
    【住所又は居所】 滋賀県大津市比叡辻 1 - 2 5 - 1  
    【氏名】 後藤 雅博  
【発明者】  
    【住所又は居所】 兵庫県神戸市西区美賀多台 1 - 2 W - 1 4 0 6  
    【氏名】 山本 憲治  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000000941  
    【氏名又は名称】 鐘淵化学工業株式会社  
    【代表者】 武田 正利  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 005027  
    【納付金額】 21,000円  
【その他】 国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成15年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「太陽光発電技術研究開発委託事業」、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの）  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

光入射側から見て光電変換層の後方に導電型シリコン系低屈折率層、シリコン系界面層が順に配置されていることを特徴とするシリコン系薄膜太陽電池。

**【請求項 2】**

前記シリコン系低屈折率層の波長 600 nm における屈折率が 2.5 以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載のシリコン系薄膜太陽電池。

**【請求項 3】**

前記シリコン系低屈折率層中に占める、シリコンを除く最多構成元素の割合が 25 原子 % 以上であることを特徴とする、請求項 1 ないし 2 に記載のシリコン系薄膜太陽電池。

**【請求項 4】**

前記最多構成元素は酸素であることを特徴とする、請求項 3 に記載のシリコン系薄膜太陽電池。

**【請求項 5】**

前記シリコン系低屈折率層の厚さが 300 Å 以上であることを特徴とする、請求項 1 ないし 4 に記載のシリコン系薄膜太陽電池。

**【請求項 6】**

前記シリコン系界面層の厚さが 150 Å 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 に記載のシリコン系薄膜太陽電池。

【書類名】明細書

【発明の名称】シリコン系薄膜太陽電池

【技術分野】

【0001】

本発明はシリコン系薄膜太陽電池に関し、特に、光入射側から見た光電変換層の後方に光電変換層よりも屈折率の小さい層を配置することによって、光閉じ込め効果を発揮する薄膜太陽電池に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年では薄膜太陽電池も多様化し、従来の非晶質薄膜太陽電池の他に結晶質薄膜太陽電池も開発され、これらを積層したハイブリッド薄膜太陽電池も実用化されている。

【0003】

薄膜太陽電池は、一般に、基板上に順に積層された第1電極、1以上の半導体薄膜光電変換ユニット、および第2電極を含んでいる。そして、1つの光電変換ユニットはp型層とn型層でサンドイッチされたi型層を含んでいる。

【0004】

i型層は実質的に真性の半導体層であって光電変換ユニットの厚さの大部分を占め、光電変換作用は主としてこのi型層内で生じる。このため、このi型層は通常i型光電変換層または単に光電変換層と呼ばれる。光電変換層は真性半導体層に限らず、ドーパされた不純物によって吸収される光の損失が問題にならない範囲で微量にp型またはn型にドーパされた層であってもよい。光電変換層は光吸収のためには厚い方が好ましいが、必要以上に厚くすればその製膜のためのコストと時間が増大することになる。

【0005】

他方、p型やn型の導電型層は光電変換ユニット内に拡散電位を生じさせる役目を果たし、この拡散電位の大きさによって薄膜太陽電池の重要な特性の1つである開放電圧の値が左右される。しかし、これらの導電型層は光電変換に直接寄与しない不活性な層であり、導電型層にドーパされた不純物によって吸収される光は発電に寄与しない損失となる。したがって、p型とn型の導電型層は、十分な拡散電位を生じさせ得る範囲内であれば、できるだけ小さな厚さにとどめておくことが好ましい。

【0006】

ここで、光電変換ユニットまたは薄膜太陽電池は、それに含まれるp型とn型の導電型層が非晶質か結晶質かにかかわらず、その主要部を占める光電変換層が非晶質のものは非晶質ユニットまたは非晶質薄膜太陽電池と称され、光電変換層が結晶質のものは結晶質ユニットまたは結晶質薄膜太陽電池と称される。

【0007】

薄膜太陽電池の変換効率を向上させる方法として、2以上の光電変換ユニットを積層してタンデム型にする方法がある。この方法においては、薄膜太陽電池の光入射側に大きなバンドギャップを有する光電変換層を含む前方ユニットを配置し、その後方に順に小さなバンドギャップを有する光電変換層を含む後方ユニットを配置することにより、入射光の広い波長範囲にわたって光電変換を可能にし、これによって太陽電池全体としての変換効率の向上が図られる。このようなタンデム型太陽電池の中でも、特に非晶質光電変換ユニットと結晶質光電変換ユニットを積層したものはハイブリッド薄膜太陽電池と称される。

【0008】

例えば、i型非晶質シリコンが光電変換し得る光の波長は長波長側において800nm程度までであるが、i型結晶質シリコンはそれより長い約1100nm程度の波長までの光を光電変換することができる。ただし、光吸収係数の大きな非晶質シリコン光電変換層は光吸収のためには0.3μm程度以下の厚さでも十分であるが、光吸収係数の小さな結晶質シリコン光電変換層は長波長の光をも十分に吸収するためには1.5～3μm程度の厚さを有することが好ましい。すなわち、結晶質光電変換層は、通常は非晶質光電変換層に比べて5～10倍程度の厚さを有することが望まれる。

## 【0009】

非晶質シリコン単層の薄膜太陽電池にせよ、前述のハイブリッド薄膜太陽電池にせよ、光電変換層の厚さをできるだけ小さく保つことが生産性すなわち低コスト化の点からは望ましい。このため、光入射側から見て光電変換層の後方に光電変換層よりも屈折率の小さな層を配置して特定波長の光を有効に反射させる、いわゆる光閉じ込め効果を利用した構造が一般的に用いられている。光入射側から見て光電変換層の後方に配置するとは、光電変換層に接してその裏面側に配置されていること、もしくは光電変換層の裏面に他の層を配置し、その層の裏面側に配置されていることを指す。

## 【0010】

特許文献1は、光入射側から、透光性第1電極、非晶質シリコン半導体薄膜（以下単に半導体薄膜と呼ぶ）、厚さ1200Å未満の酸化亜鉛膜、不透光性第2電極（金属電極）が順に積層された太陽電池の構造を開示している。酸化亜鉛膜は、半導体薄膜と金属電極との界面に珪化物が生じて吸収ロスが増えるのを防止する作用を有する。また、酸化亜鉛膜と半導体薄膜との間に屈折率差があるため、酸化亜鉛膜の厚さを1200Å未満、好ましくは300～900Åに限定すれば半導体薄膜／酸化亜鉛膜界面での反射率を向上させる効果を有する。このため、太陽電池の短絡電流密度が向上し、変換効率が向上する。しかしながら、酸化亜鉛膜はスパッタ、スプレーなどの手法で形成されるため、プラズマCVD法等で一般的に形成される半導体薄膜とは別設備を用いる必要があり、設備コストがかかり、生産タクトも長くなるという問題が発生する。さらに、特に酸化亜鉛膜の形成にスパッタ法を用いる場合、下地半導体薄膜へのスパッタダメージによる性能低下を引き起こす可能性がある、という問題も発生する。また、前述の半導体薄膜は、実施例によればp型a-SiC:H膜、ノンドープa-Si:H膜、n型a-Si:H膜からなっている。この場合、ノンドープa-Si:H膜内に十分な拡散電位を生じさせるためには、n型a-Si:H膜の厚さとして一般的に150～300Åが必要であり、n型a-Si:H膜を通過する際の光の吸収ロスが無視できない。

## 【0011】

一方、特許文献2は、光入射側から順に透明電極／一導電型非晶質半導体層／真性非晶質半導体層／非晶質シリコンオキシナイトライドまたは非晶質酸化シリコン（以下、a-SiONまたはa-SiOと記す）／金属酸化物層／高反射金属層／基板の構造を開示している。ただし、このa-SiON（a-SiO）層は、金属酸化物層上に非晶質半導体層を形成する際に生じ得る、金属酸化物層の還元による吸収ロスの増加を防止する目的で形成されており、a-SiON（a-SiO）層と真性非晶質半導体層との屈折率差を利用して光閉じ込めを行えるとの記載はない。実際に、実施例では厚さを200Åと薄く設定しているため、十分な光閉じ込め効果が期待できない。

## 【0012】

他方、本発明者らは高周波プラズマCVD法により、反応ガスにSiH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>およびPH<sub>3</sub>（またはB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）を用いてシリコンオキシド層を形成する方法を検討した。その結果、シリコンオキシド層を光電変換層の後方に配置し、CO<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub>比を大きくする等の手法により層中酸素量を増やして光電変換層との屈折率の差を大きくしてやれば、光閉じ込め効果が発揮され太陽電池の短絡電流が増大することを見出した。しかしながら、シリコンオキシド層の後方に直接、ZnO等の金属酸化物層と金属層から成る裏面電極を形成すると、太陽電池の直列抵抗が大きくなり、変換効率が低下してしまうという問題点があった。

## 【0013】

このように、従来の技術ではシリコンオキシドを代表とするシリコン系低屈折層と裏面電極の間に生じる接触抵抗に伴う、太陽電池の直列抵抗の問題が解決されていなかった。

【特許文献1】特開平2-73672号公報

【特許文献2】特開平4-167473号公報

【発明の開示】

**【発明が解決しようとする課題】****【0014】**

上述のような状況に鑑み、本発明は、光電変換層に比べて低い屈折率を有する層を、光電変換層の形成と別種の設備を用いることなく、光入射側から見て光電変換層の後方に配置することにより、十分な光閉じ込め効果を発揮でき、かつそのような低い屈折率を有する層が配置されていても太陽電池の直列抵抗を小さく保つことができる、高効率かつ低コストなシリコン系薄膜太陽電池を提供することを目的としている。

**【課題を解決するための手段】****【0015】**

本発明によるシリコン系薄膜太陽電池は、光入射側から見て光電変換層の後方にシリコン系低屈折率層、シリコン系界面層が順に配置されたことを特徴とするシリコン系薄膜太陽電池である。

**【0016】**

シリコン系低屈折率層は光電変換層内に拡散電位を生じさせる役割を果たし、不純物によりp型またはn型にドーピングされた層である。シリコン系低屈折率層は、その表面で光を有効に光電変換層側に反射させ、かつその層中での光の吸収ロスをできる限り小さく保つため、波長600nmにおける屈折率が2.5以下であって、かつその厚さが300Å以上であることが好ましい。シリコン系低屈折率層は、シリコンオキシサイドを代表とする、シリコンと酸素等の元素から成る合金層であり、その層中に占めるシリコンを除く最多構成元素の割合が、25原子%以上であることが好ましく、また、光電変換層と同種の製法、すなわち高周波プラズマCVD等の方法で形成されることが好ましい。

**【0017】**

シリコン系界面層は、シリコンを主成分とする導電型層である。シリコン系界面層は光電変換層内の拡散電位の発生に寄与する必要がないため、その層における光吸収損失をできるだけ小さく保つために、その厚さが150Å以下であることが好ましく、より好ましくはその厚さを100Å以下とすることが望ましい。

**【発明の効果】****【0018】**

本発明によれば、光電変換層よりも低い屈折率を有するシリコン系低屈折率層を、光電変換層の形成と別種の設備を用いることなく、光入射側から見て光電変換層の後方に形成することができるため、低コストで十分な光閉じ込め効果を発揮できる。さらにシリコン系低屈折率層の後方に薄いシリコン系界面層を配置することで太陽電池の直列抵抗を小さく保つことができる。この結果、高効率かつ低コストなシリコン系薄膜太陽電池を提供することができる。

**【発明を実施するための最良の形態】****【0019】**

本発明者らは、シリコン系低屈折率層を光電変換層の後方に配置した場合に生ずる、太陽電池の直列抵抗が増大する問題を解決するため、最適な太陽電池の構造を鋭意検討した。その結果、シリコン系低屈折率層の後方に薄いシリコン系界面層を配置し、その後方に配置された金属酸化物層を含む裏面電極層との接触抵抗を改善することにより、太陽電池の直列抵抗が小さくなり、変換効率が改善されることを見出した。

**【0020】**

本発明においては、シリコン系低屈折率層と裏面電極層との間に配置されたシリコン系界面層は、シリコン系低屈折率層、裏面電極層のいずれとも小さな接触抵抗を有し、その結果、太陽電池の直列抵抗を小さくしていると考えられる。特に、図1に示すようにシリコン系低屈折率層としてシリコンオキシサイドを用い、その層中酸素量を増やして屈折率を2.5以下にまで下げた場合、シリコン系低屈折率層と裏面電極層の接触抵抗を下げるのは困難であるが、このような問題もシリコン系界面層を挿入することにより解決される。従って、シリコン系低屈折率層を光閉じ込めに最適な厚さと屈折率に設計できる。しかもシリコン系低屈折率層の屈折率は製膜条件を変更するだけで容易に調整できるため、屈折

率を膜厚方向で周期的に変化させるなど、より精緻な光学設計による光閉じ込め効果の増大も期待できる。

#### 【0021】

以下に、本発明の実施の形態としてのシリコン系薄膜太陽電池を、図2を参照しつつ説明する。

#### 【0022】

透光性基板1の上に透明電極層2が形成されている。透光性基板1としては、ガラス、透明樹脂等から成る板状部材やシート状部材が用いられる。透明電極層2は $\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZnO}$ 等の導電性金属酸化物から成ることが好ましく、CVD、スパッタ、蒸着等の方法を用いて形成されることが好ましい。透明電極層2はその表面に微細な凹凸を有することにより、入射光の散乱を増大させる効果を有することが望ましい。透明電極層2の上には非晶質光電変換ユニット3が形成される。非晶質光電変換ユニット3は非晶質p型シリコンカーバイド層3p、ノンドープ非晶質i型シリコン光電変換層3i、n型シリコン系界面層3nから成り立っている。非晶質光電変換ユニット3の上に結晶質光電変換ユニット4が形成されている。非晶質光電変換ユニット3、および結晶質光電変換ユニット4（以下、この両方のユニットをまとめて単に光電変換ユニットと称する）の形成には高周波プラズマCVD法が適している。光電変換ユニットの形成条件としては、基板温度 $100\sim 300^\circ\text{C}$ 、圧力 $30\sim 1500\text{Pa}$ 、高周波パワー密度 $0.01\sim 0.5\text{W}/\text{cm}^2$ が好ましく用いられる。光電変換ユニット形成に使用する原料ガスとしては、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 等のシリコン含有ガスまたは、それらのガスと $\text{H}_2$ を混合したものが用いられる。光電変換ユニットにおけるp型またはn型層を形成するためのドーパントガスとしては、 $\text{B}_2\text{H}_6$ または $\text{PH}_3$ 等が好ましく用いられる。

#### 【0023】

結晶質光電変換ユニット4は結晶質p型シリコン層4p、結晶質i型シリコン光電変換層4i、n型シリコン系低屈折率層4on、およびn型シリコン系界面層4nから成り立っている。n型シリコン系低屈折率層4onとしてはシリコンオキサイドが代表的に用いられ、その場合使用する原料ガスとしては、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{PH}_3$ の混合ガスが適している。シリコン系低屈折率層4onには結晶質シリコンが一部含まれていてもよいし、含まれていなくてもよい。シリコン系低屈折率層4onの波長 $600\text{nm}$ における屈折率として2.5以下が好ましく用いられる。シリコン系低屈折率層4on中の層中に占めるシリコンを除く最多構成元素の割合として25原子%以上が好ましく用いられる。シリコン系低屈折率層4onの厚さは $300\text{\AA}$ 以上が好ましく用いられ、より好ましくは $500\sim 900\text{\AA}$ が用いられる。シリコン系低屈折率層4onとしてシリコンオキサイドを用いた場合、層中に占める酸素の割合または、その屈折率を実現するためには、 $\text{CO}_2/\text{SiH}_4$ のガス比として、2～10程度が用いられる。シリコン系低屈折率層4onは膜厚方向に屈折率が一定でもよく、途中で屈折率に変化していてもよい。さらに、屈折率が周期的に増減するようになっていてもよい。なお、図2では光入射側から見て結晶質i型シリコン光電変換層4iの後方に、結晶質i型シリコン光電変換層4iに接してn型シリコン系低屈折率層4onが配置される構造を示しているが、結晶質i型シリコン光電変換層4iとn型シリコン系低屈折率層4onの間にn型シリコン層等の別の層が挟まれて配置されていてもよい。また、シリコン系低屈折率層4onとしては、シリコンオキサイドの代わりに、シリコンナイトライド、シリコンカーバイド、シリコンオキシナイトライド、シリコンオキシカーバイド等、シリコンに窒素、炭素、酸素のいずれか一つ以上の元素が含まれる層であってもよい。

#### 【0024】

n型シリコン系低屈折率層4on上にn型シリコン系界面層4nが形成される。n型シリコン系界面層4nには主として結晶質シリコンが用いられる。n型シリコン系界面層4nは、n型シリコン系低屈折率層4onと裏面電極5の接触抵抗を改善する目的で用いられ、この層における光吸収ロスを最小限にとどめるためにできるだけ小さな厚さを有することが望ましい。具体的には $150\text{\AA}$ 以下、より好ましくは $100\text{\AA}$ 以下の厚さが用いら

れる。さらに、n型シリコン系界面層4nには $1 \sim 10^2 \text{ S/cm}$ 程度の導電率を有するものが用いられ得る。n型シリコン系界面層4nには酸素、炭素、窒素のいずれか一つ以上の元素が、裏面電極5との接触抵抗を増大させない程度に含まれていてもよい。

#### 【0025】

n型シリコン系界面層4nの上には裏面電極5が形成される。裏面電極5は透明反射層5tと裏面反射層5mとから成る。透明反射層5tにはZnO、ITO等の金属酸化物が用いられ、裏面反射層5mにはAg、Alまたはそれらの合金が好ましく用いられる。裏面電極5の形成においては、スパッタ、蒸着等の方法が好ましく用いられる。なお、図2にはハイブリッド薄膜太陽電池の構造を記載しているが、光電変換ユニットは必ずしも2つである必要はなく、非晶質または結晶質のシングル構造、3層以上の積層型太陽電池構造であってもよい。さらに、図2は透光性基板上に光電変換層、シリコン系低屈折率層、n型シリコン系界面層が順に配置された構造を示しているが、金属等の導電性基板上または絶縁基板上に、n型シリコン系界面層、シリコン系低屈折率層、光電変換層が順に堆積された、いわゆる逆タイプの構造であってもよい。

#### 【実施例】

#### 【0026】

以下に、本発明によるシリコン系薄膜太陽電池として実施例1、2および3を、図3を参照しつつ、比較例1および2と比較しながら説明する。

#### 【0027】

#### (実施例1)

図3は、各実施例及び各比較例にて作製したハイブリッド薄膜太陽電池を模式的に示す断面図である。

#### 【0028】

まず、0.7mm厚の青板ガラスから成る透光性基板1の一主面上に、 $\text{SnO}_2$ からなる表面に微細な凹凸構造を有する透明電極層2を熱CVD法により形成した。

#### 【0029】

次に、非晶質光電変換ユニット3を形成するために、透明電極層2が形成された透光性基板1を高周波プラズマCVD装置内に導入し、所定の温度に加熱した後、厚さ $160 \text{ \AA}$ の非晶質p型シリコンカーバイド層3p、厚さ $3000 \text{ \AA}$ のノンドーブ非晶質i型シリコン光電変換層3i、及び厚さ $300 \text{ \AA}$ のn型シリコン層3nを順次積層した。

#### 【0030】

さらに、結晶質光電変換ユニット4を形成するために、プラズマCVD装置を用いて、厚さ $150 \text{ \AA}$ のp型結晶質シリコン層4p、厚さ $1.4 \mu\text{m}$ の結晶質i型シリコン光電変換層4i、厚さ $600 \text{ \AA}$ のn型シリコン系低屈折率層4on、及び厚さ $50 \sim 70 \text{ \AA}$ のn型結晶質シリコン系界面層4nを順次積層した。その際のn型シリコン系低屈折率層4onの製膜条件は、基板製膜面—電極間距離 $10 \sim 15 \text{ mm}$ 、圧力 $350 \sim 1300 \text{ Pa}$ 、高周波パワー密度 $0.1 \sim 0.13 \text{ W/cm}^2$ 、 $\text{SiH}_4/\text{CO}_2/\text{PH}_3/\text{H}_2$ 流量を各々 $15/120/0.5/9000 \text{ sccm}$ とした。また、これと同一の製膜条件でガラス上に $2500 \text{ \AA}$ 堆積したn型シリコン系低屈折率層の分光エリプソメトリにより測定した屈折率は、波長 $600 \text{ nm}$ において1.9であった。一方、n型シリコン系界面層4nの製膜条件は、基板製膜面—電極間距離 $10 \sim 15 \text{ mm}$ 、圧力 $350 \sim 1300 \text{ Pa}$ 、高周波パワー密度 $0.11 \text{ W/cm}^2$ 、 $\text{SiH}_4/\text{PH}_3/\text{H}_2$ 流量を各々 $20/0.5/2500 \text{ sccm}$ とした。また、これと同一の製膜条件でガラス上に $2500 \text{ \AA}$ 堆積したn型シリコン系界面層の導電率は $12 \text{ S/cm}$ であった。

#### 【0031】

その後、裏面電極5として厚さ $300 \text{ \AA}$ のZnOから成る透明反射層（図示せず）と厚さ $2000 \text{ \AA}$ のAgから成る裏面反射層（図示せず）をDCスパッタ法によって形成した。

#### 【0032】

さらに、透明電極層2を残して非晶質光電変換ユニット3、結晶質光電変換ユニット4



、及び裏面電極5を島状に分離するために、YAG第2高調波パルスレーザーを透光性基板1に照射することにより複数の裏面電極層分離溝5aを形成した。図示はしていないが、裏面電極層分離溝5aと垂直に交差する複数の裏面電極層分離溝をも形成することにより、島状の分離領域を形成した。さらに、1本の裏面電極層分離溝5aに隣接して島状の分離領域の外側にさらに裏面電極層分離溝を形成し、その内部に半田を浸透させて透明電極層2とのコンタクト領域6を形成することにより、ハイブリッド薄膜太陽電池を作製した。このハイブリッド薄膜太陽電池は有効面積が $1\text{ cm}^2$ であり、実施例1では1枚の基板上に上記の太陽電池を合計25個作製した。

#### 【0033】

実施例1で作製したハイブリッド薄膜太陽電池に、スペクトル分布AM1.5、エネルギー密度 $100\text{ mW/cm}^2$ の擬似太陽光を、測定雰囲気及び太陽電池の温度が $25 \pm 1^\circ\text{C}$ の下で照射し、透明電極層2にコンタクト領域6を通じて接触させた正極プローブ7と裏面電極5に接触させた負極プローブ8の間の電圧及び電流を測定することで、薄膜太陽電池の出力特性を測定した。表1に実施例1で作製した25個のハイブリッド薄膜太陽電池の平均性能を示す。

#### 【0034】

【表1】

	結晶質光電変換ユニットの構成 (p型結晶質Si層より上の層のみを示す)	平均太陽電池性能			
		開放電圧(V)	短絡電流(mA)	曲線因子	変換効率(%)
実施例1	i型結晶質Si層/n型シリコン系低屈折率層/n型シリコン系界面層/ZnO層	1.375	11.86	0.725	11.82
比較例1	i型結晶質Si層/n型シリコン系低屈折率層/ZnO層	1.374	11.39	0.739	11.57
比較例2	i型結晶質Si層/n型シリコン系低屈折率層/ZnO層	1.378	11.74	0.696	11.26

太陽電池の一部を硝酸水溶液に浸し、裏面電極5をエッチング除去してn型シリコン系界面層4nを露出させた。この状態でn型シリコン系界面層4n側から光を照射して測定した反射スペクトルを図4に示す。次に反応性イオンエッチング(RIE)法によりn型シリコン系界面層4nを除去し、n型シリコン系低屈折率層4onを露出させた。このシリコン系低屈折率層を分光エリプソメトリにより測定したときの屈折率は、波長 $600\text{ nm}$ において1.93であった。また、X線光電子分光法(XPS)で測定したシリコン系低屈折率層中の酸素量は48原子%であった。

#### 【0035】

##### (実施例2)

実施例2においては、実施例1とほぼ同様の工程を実施したが、n型シリコン系低屈折率層4onの製膜条件のみを変化させ、波長 $600\text{ nm}$ における屈折率を1.65~2.65の範囲で変化させた点が、実施例1とは異なっていた。シリコン系低屈折率層の屈折率とハイブリッド薄膜太陽電池の変換効率との関係を図5に示す。

#### 【0036】

##### (実施例3)

実施例3においては、実施例1とほぼ同様の工程を実施したが、n型シリコン系低屈折率層4onの厚さを $100 \sim 1000\text{ \AA}$ の範囲で変化させた点が実施例1と異なっていた。シリコン系低屈折率層の厚さと得られたハイブリッド薄膜太陽電池の変換効率との関係を図6に示す。

#### 【0037】

##### (比較例1)

比較例1においては、以下の点のみが実施例1と異なっていた。n型シリコン系低屈折率層4onとn型結晶質シリコン系界面層4nを順次積層する代わりに、厚さ $150\text{ \AA}$ のn型結晶質シリコン層と厚さ $600\text{ \AA}$ のZnO層を順次積層した。ZnO層の製膜はDCスパッタ法により行った。また、これと同一の製膜条件でガラス上に $2500\text{ \AA}$ 堆積したZnO層を分光エリプソメトリにより測定した屈折率は、波長 $600\text{ nm}$ において1.9であった。表1に比較例1で作製した25個のハイブリッド薄膜太陽電池の平均性能を示す。また、比較例1にて作製した太陽電池の一部を硝酸水溶液に浸し、裏面電極5をエッチング除去してn型結晶質シリコン層を露出させた。この状態でn型結晶質シリコン層側

から光を照射して測定した反射スペクトルを図4に示す。

【0038】

(比較例2)

比較例2においては、n型シリコン系低屈折率層4on上のn型シリコン系界面層4nの形成を省略した点のみが実施例1と異なっていた。表1に比較例2で作製した25個の集積化ハイブリッド薄膜太陽電池の平均性能を示す。

【0039】

実施例1と比較例1の比較から、実施例1においては比較例1よりも短絡電流が4%以上改善されていることがわかる。これは、実施例1においては、結晶質i型シリコン光電変換層4iの後方に到達した光の大半が結晶質i型シリコン光電変換層4iとn型シリコン系低屈折率層4onの界面で結晶質i型シリコン光電変換層4i側に反射され、光吸収ロスの大きいn型結晶質シリコン系界面層4nを光が通過する割合が小さいのに対して、比較例1においては結晶質i型シリコン光電変換層4iの後方にn型結晶質シリコン層とZnO層が順次積層されており、光吸収ロスの大きいn型結晶質シリコン層を光が通過する割合が大きいためである。加えて、実施例1においては比較例1のプロセス中で生じるようなZnO層のスパッタ時の下地結晶質シリコン層へのダメージを防止できるためである。

【0040】

次に、実施例1と比較例2の比較から、実施例1においては比較例2よりも曲線因子が5%程度改善されていることがわかる。これは、実施例1においては、n型シリコン系低屈折率層4onと透明反射層5tの間にn型結晶質シリコン系界面層4nを挿入することにより、太陽電池の直列抵抗が改善されているためである。

【0041】

図4に示す、太陽電池特性測定時の光入射側と逆方向から光を照射して測定した反射スペクトルの測定結果から、裏面電極5をエッチング除去すれば、結晶質i型シリコン光電変換層4iの後方に、それよりも屈折率の小さいシリコン系低屈折率層4onが配置されているか否かが検知可能であることがわかる。

【0042】

図5に示す実施例2の結果から、シリコン系低屈折率層の屈折率には最適値があり、屈折率は2.5以下が好ましいことがわかる。この条件は、図1より層中酸素量25原子%以上に対応していることがわかる。これは、屈折率が2.5を超える場合には隣接する結晶質i型シリコン光電変換層との屈折率差が小さく光閉じ込め効果が小さいためである。また、図6に示す実施例3の結果から、シリコン系低屈折率層の厚さには最適値があり、厚さ300Å以上が好ましいことがわかる。

【0043】

以上のことから、本発明によれば、光電変換層よりも低い屈折率を有するシリコン系低屈折率層を、光電変換層の形成と別種の設備を用いることなく、光入射側から見て光電変換層の後方に形成することができるため、低コストで十分な光閉じ込め効果を発揮できる。さらにシリコン系低屈折率層の後方に薄いシリコン系界面層を配置することで太陽電池の直列抵抗を小さく保つことができる。この結果、高効率かつ低コストなシリコン系薄膜太陽電池を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】シリコン系低屈折率層の層中酸素量と屈折率の関係を表す図である。

【図2】本発明によるシリコン系低屈折率層を含む薄膜太陽電池の模式的断面図である。

【図3】各実施例および比較例にて作製したハイブリッド薄膜太陽電池の模式的断面図である。

【図4】実施例1および比較例1で作製した太陽電池の裏面電極をエッチング除去して露出した表面から光を入射して測定した反射スペクトルを表す図である。

【図5】シリコン系低屈折率層の屈折率とハイブリッド薄膜太陽電池の変換効率の関係を表す図である。

【図6】シリコン系低屈折率層の厚さとハイブリッド薄膜太陽電池の変換効率の関係を表す図である。

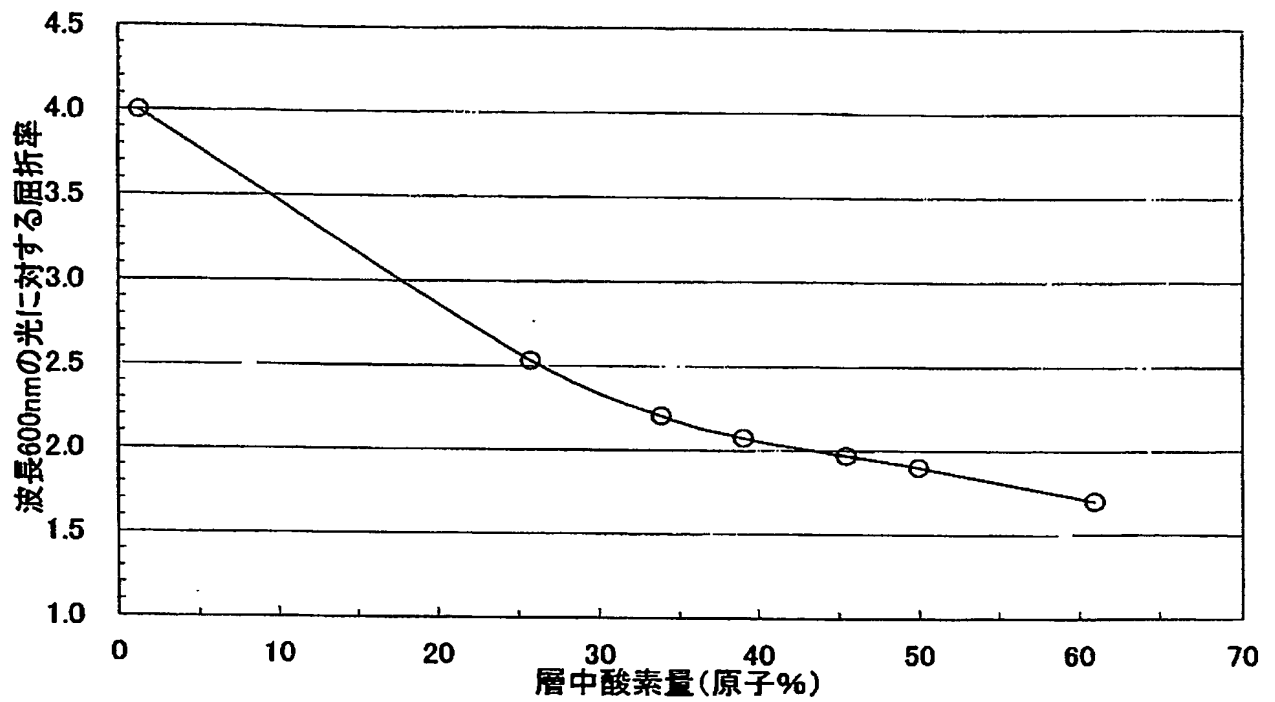
【符号の説明】

【0045】

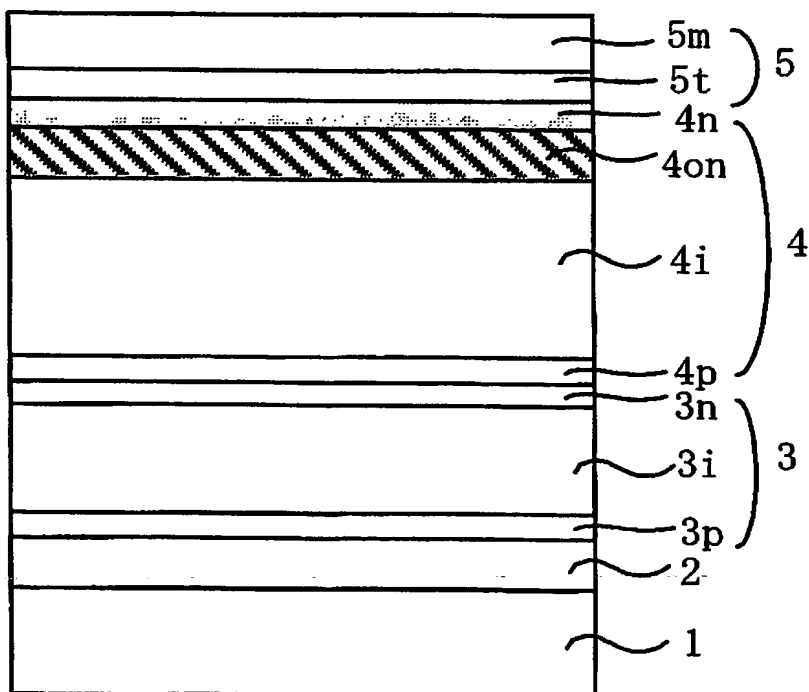
- 1 製膜用基板
- 2 透明電極層
- 3 非晶質光電変換ユニット
- 3 p 非晶質 p 型シリコンカーバイド層
- 3 i ノンドープ非晶質 i 型シリコン光電変換層
- 3 n n 型シリコン層
- 4 結晶質光電変換ユニット
- 4 p p 型結晶質シリコン層
- 4 i 結晶質 i 型シリコン光電変換層
- 4 o n n 型シリコン系低屈折率層
- 4 n n 型シリコン系界面層
- 5 裏面電極
- 5 t 透明反射層
- 5 m 裏面反射層
- 5 a 裏面電極分離溝
- 6 コンタクト領域
- 7 正極プローブ
- 8 負極プローブ

【書類名】 図面

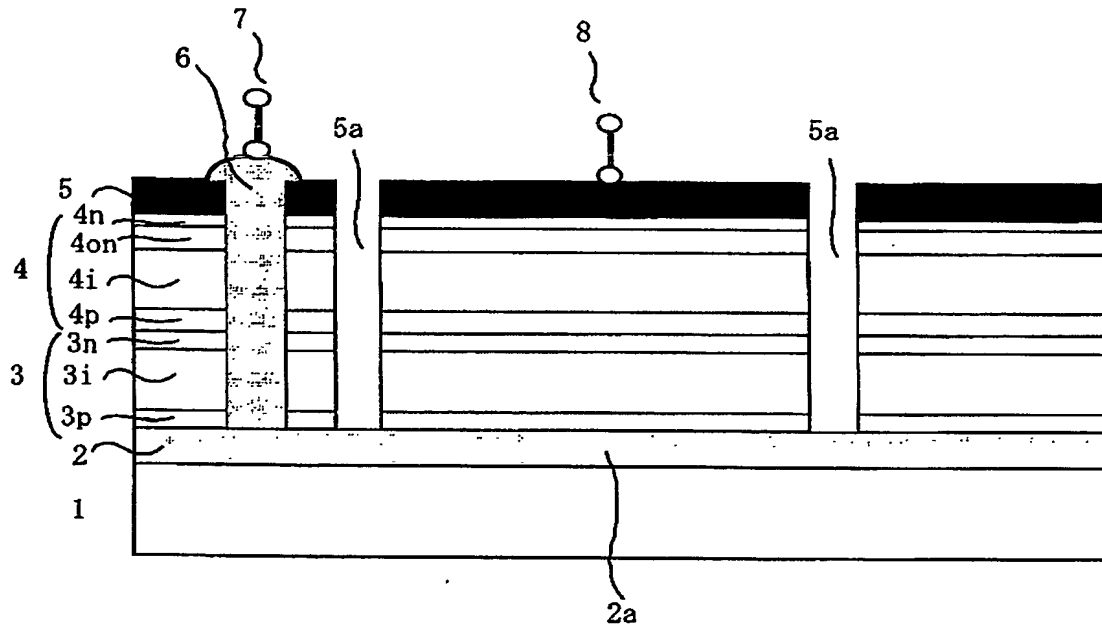
【図 1】



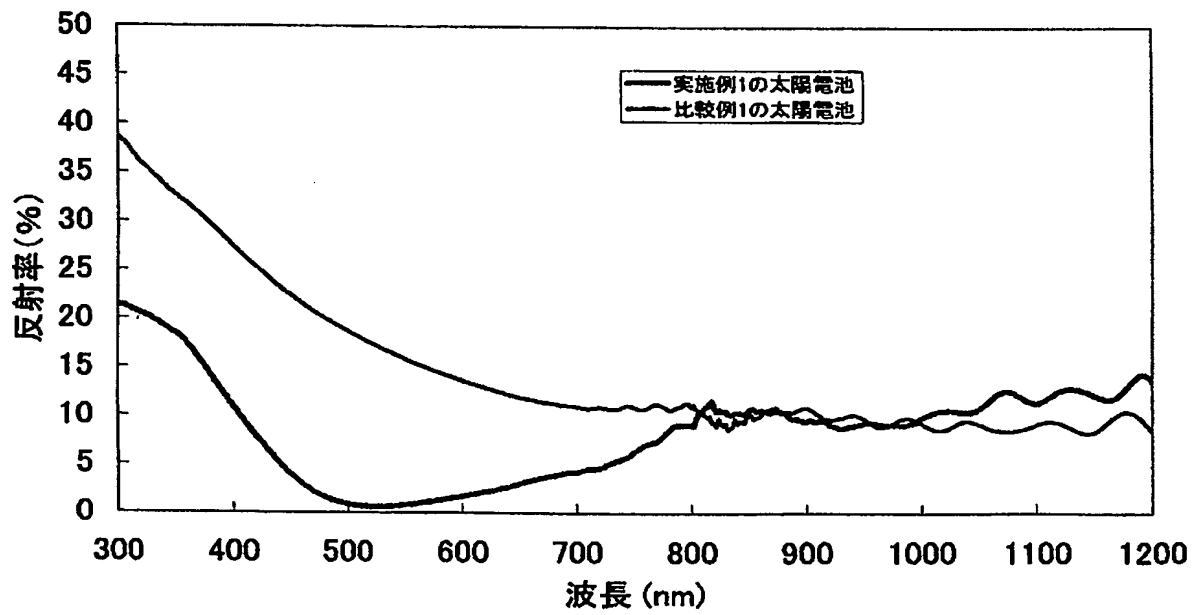
【図 2】



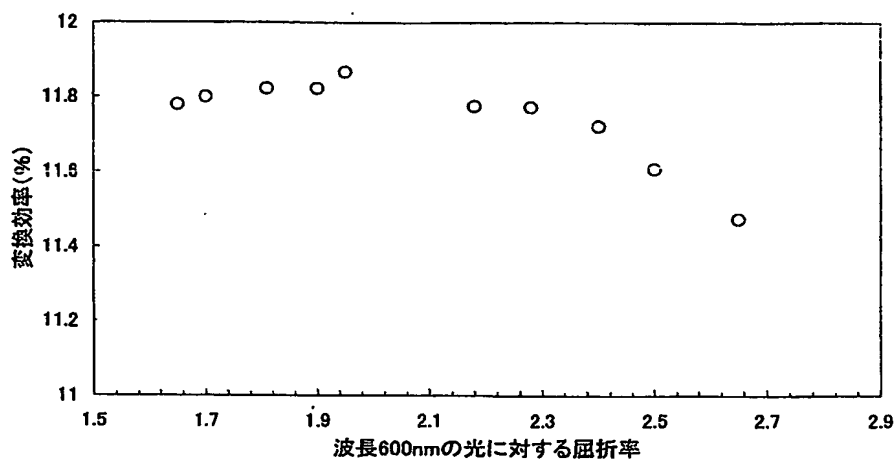
【図 3】



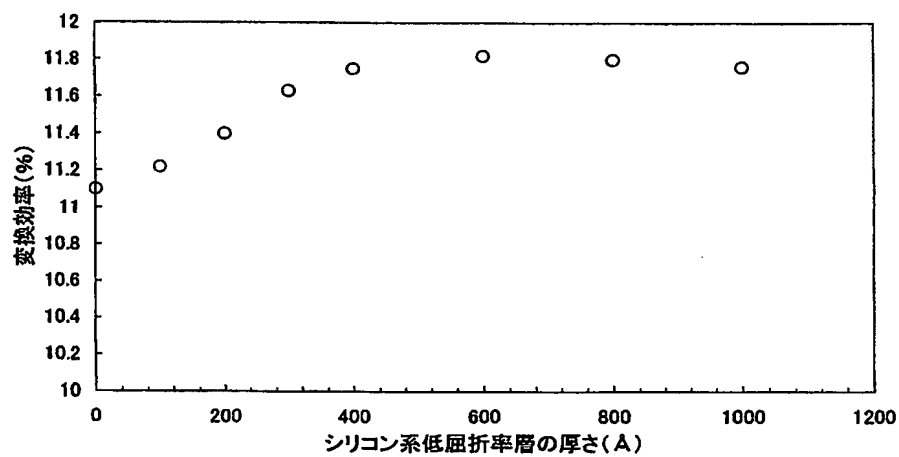
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 十分な光閉じ込め効果を発揮できる、高効率かつ低コストなシリコン系薄膜太陽電池を提供すること。

【解決手段】 シリコン系低屈折率層と薄いシリコン系界面層を、光電変換層の形成と別種の設備を用いることなく、光入射側から見て光電変換層の後方に順次形成することにより、十分な光閉じ込め効果を発揮でき、かつ直列抵抗を小さく保てる、高効率かつ低コストなシリコン系薄膜太陽電池を提供できる。前記シリコン系低屈折率層の屈折率は 2.5 以下であることを特徴としている。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 3 - 3 5 8 3 6 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 0 9 4 1 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 7 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市北区中之島 3 丁目 2 番 4 号

氏 名 鐘淵化学工業株式会社